ICS 00.000
CCS L 65

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 063—2026

煤层注气驱替甲烷抽采技术规范

Technical specification for gas-injection displacement of methane in coal seams for enhanced gas extraction

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2026 年 10 月 26 日）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2026－11－5 发布　　2026－11－6 实施

中关村绿色矿山产业联盟　　发 布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　系统组成及配置要求 2
5　工艺参数与操作要求 3
6　效果考察与评价 5
7　工程质量验证 6
8　安全与环境要求 6
参考文献 8

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：中国矿业大学、中国矿业大学(北京)、华北科技学院、河南理工大学、贵州大学、煤炭科学技术研究院有限公司、安徽理工大学、新疆工程学院、中关村绿色矿山产业联盟规划设计专业委员会。

本文件主要起草人：张磊、杨涛、彭苏萍、王德洋、屠世浩、魏建平、李希建、舒龙勇、吴刚、田贺、张村、郝定溢、刘云山、屠洪盛、李菁华、郑江韬、唐芙蓉、苗凯军、田野、赵磊磊、荆刚、王欢、李松召、阳元中、夏微、王珂、黄守业、车鸿鑫、蔡祎括。

本文件为首次发布。

煤层注气驱替甲烷抽采技术规范

1 范围

本文件规定了煤层注气驱替甲烷抽采技术的系统组成及设备要求、工艺参数、作业程序、监测评价、安全与环境要求及工程质量验证。

本文件适用于煤层气开发与煤矿瓦斯抽采领域中采用氮气、二氧化碳等气体作为驱替介质的注气驱替作业。

本文件不适用于高渗透煤层、露天煤层，以及采用空气或富氧气体注入等具有氧化风险的驱替作业。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 21522 煤层气（煤矿瓦斯）排放标准

GB/T 3836.1 爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求

GB/T 3836.4 爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的设备

GB/T 40881 煤矿低浓度瓦斯管道输送安全保障系统设计规范

GB/T 41022 煤矿瓦斯抽采基本指标

GB/T 50471 煤矿瓦斯抽采工程设计标准

GB/T 50935 煤矿瓦斯抽采工程设计文件编制标准

AQ 1029 煤矿安全监测系统及检测仪器使用管理规范

MT/T 757 煤的瓦斯含量测定方法

KA/T 1047 煤矿井下煤层瓦斯压力的直接测定方法

NB/T 11168 煤矿井下瓦斯抽采钻孔成孔、护孔技术规范

NB/T 11637 煤矿瓦斯抽采系统管理规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

注气驱替 gas displacement

向煤层注入一定压力和流量的驱替气体如氮气、二氧化碳等，以利用驱替气体与甲烷分压差与渗流场的相互作用，促使吸附态甲烷解吸并迁移至抽采孔的一种强化甲烷抽采技术。

3.2

边注边抽 simultaneous injection and extraction

在煤层中同时进行驱替气注入与抽采甲烷，通过气体置换与压力梯度作用实现增强瓦斯抽采的工艺方式。

3.3

驱替半径 displacement radius

注驱替气过程中，驱替气在煤层中产生有效浓度与压力影响范围的空间半径，通常以驱替气浓度降低至20%处定义。

3.4

驱替效率 displacement efficiency

单位体积驱替气注入所引起的甲烷解吸与运移总量与理论解吸瓦斯量的比值，反映驱替过程的能量利用效率。

3.5

瓦斯含量降低率　gas pressure reduction ratio

驱替前后煤层瓦斯含量下降幅度与初始含量的比值，用以评估驱替效果。

3.6

抽采纯量　net methane extraction rate

在一定时间内，单位煤层体积中甲烷有效抽采量减去注驱替气引起的稀释部分后所得的净抽采量。

4　系统组成及配置要求

4.1　系统组成

注气驱替瓦斯抽采系统应由地面制气系统、输气管线系统、井下注气装置、瓦斯抽采系统、监测与控制系统及安全防护系统组成，各组成部分的功能如下：

a)　地面制气系统，用于驱替气体的制备、净化、储存及供给；
b)　输气管线系统，用于驱替气体的输送、压力调节及安全控制；
c)　井下注气装置，用于驱替气体注入煤层，并实现注气流量和压力调节；
d)　瓦斯抽采系统，用于注气驱替出的甲烷解吸和运移出煤层；
e)　监测与控制系统，用于实时监测注气、抽采及气体参数，并实现自动控制和联锁保护；
f)　安全防护系统，用于实现气体泄漏报警、防爆、防回火、泄压及紧急切断等安全保护功能。

系统应具备驱替气制备、输送、注入、抽采、监测、控制及安全防护等功能，其总体设计应符合《煤矿安全规程》及有关标准关于防爆、防腐、防渗和防静电等规定。

4.2　地面制气系统

地面制气系统应符合下列要求：

a)　驱替气宜采用膜分离、变压吸附（PSA）等成熟工艺制备；
b)　驱替气纯度应不低于 97%；
c)　制气装置应配置压力控制、纯度检测、安全放散及紧急切断装置；
d)　驱替气输出压力宜为 0.5～2.0 MPa，输出温度不宜高于 40℃；
e)　制气设备应满足连续稳定供气要求，并便于运行维护和检修；
f)　制气站应设置于安全区域，并配备防火、防雷及安全防护设施。

4.3　输气管线系统

输气管线系统应符合下列要求：

a)　输气管路宜采用防腐钢管或耐压耐腐蚀复合管材，连接部位应密封可靠；
b)　输气管路应设置分段切断阀、泄压装置及防回火装置；
c)　井口、主要运输巷道及注气钻孔连接位置应设置压力监测及超压保护装置；
d)　输气管路应按介质流向设置明显标识，并采取可靠接地措施，防止静电积聚；
e)　输气管路应便于安装、维护和检修。

4.4　注气装置

注气装置及其布置应符合下列要求：

a)　注气装置应布置于注采一体化钻孔系统中，并与抽采钻孔形成合理的注采关系；
b)　注气装置应具备流量调节、压力控制、自动切断及多孔协同注气功能；
c)　注气位置应根据煤层赋存条件、钻孔布置及驱替范围合理确定，并避开采掘工作面风流及煤与瓦斯突出危险区域；
d)　注气装置应便于安装、拆卸、维护及运行参数调整。

4.5　瓦斯抽采系统

瓦斯抽采系统及注采钻孔布置应符合下列要求：

a） 注气系统与瓦斯抽采系统应根据煤层渗透性、埋深及地应力条件进行协同设计，宜形成注采一体化运行模式；
b） 注气钻孔与抽采钻孔应形成有效的注采耦合空间，其布置方式宜根据煤层厚度、倾角及地质构造特征确定；
c） 注气钻孔与抽采钻孔间距宜根据煤层渗透率及驱替半径确定，一般宜为 3～16 m；
d） 钻孔深度宜穿透煤层，并进入顶（底）板 0.3～0.5 m；封孔长度及封孔材料应符合有关标准规定；
e） 抽采系统应具备连续抽采能力，并能够连续监测抽采负压、抽采流量、抽采浓度及混合气体组分；
f） 注采系统管路、阀门及防爆电气设备应符合 GB 3836 系列标准及有关规定。

4.6 监测与控制系统

监测与控制系统应符合下列要求：
a） 系统应具备注气压力、注气流量、驱替气体纯度、抽采负压、抽采流量及抽采浓度等参数的实时监测功能；
b） 监测数据应具备自动采集、存储、传输和追溯功能，并形成运行数据库；
c） 系统应配置甲烷、氧气及二氧化碳等气体监测装置，具备超限报警及联锁控制功能；
d） 系统应支持远程监控、自动控制及紧急切断功能，实现注气与抽采过程的联动控制；
e） 监测与控制系统应具备故障报警和运行状态自检功能。

5 工艺参数与操作要求

5.1 一般规定

注气驱替作业应根据煤层地质条件、煤层渗透性、瓦斯赋存特征及抽采目标确定注气工艺参数，并实行注气与抽采协同运行。注气过程中应保持系统稳定运行，防止驱替气进入采掘工作面风流。

5.2 工艺参数

5.2.1 注气压力

注气压力（P_i）是指驱替气注入煤层时注入点处气体的瞬时压力或稳定压力，其大小应能够克服煤层孔隙阻力及煤层扰动产生的附加阻力，应按下列公式计算：

$$P_i = 0.75P_c + 0.1\Delta P_s \cdots\cdots (1)$$

式中：

P_i—注气压力，MPa；

P_c—煤层原始瓦斯压力，MPa；

ΔP_s—煤层应力扰动附加压力，MPa。

5.2.2 注气流量

注气流量（Q_i）是指单位时间内注入煤层的驱替气体体积，用于表征驱替气注入能力。主题流量宜根据煤层渗透率、注气压力及驱替范围确定，应按下列公式计算：

$$Q_i = \frac{k \cdot A \cdot \triangle p}{\mu \cdot L} \cdots\cdots (1)$$

式中：

Q_i—注气流量,m^3/s；

k—煤层渗透率，m^2；

A—有效注气截面积，m^2。

Δp—注气压差，即注气压力与煤层孔隙压力之差，Pa；

μ—驱替气体的动力黏度，Pa·s；

L—驱替气在煤层中的有效渗流路径长度，m。

5.2.3 驱替半径

驱替半径（R_d）是指驱替气在煤层中能够有效驱替甲烷的最大作用范围，是确定注采钻孔布置的重要参数，应按照下列理论计算：

$$R_d = \sqrt{\frac{2k(P_i - P_e)}{\mu\phi}} \quad (1)$$

式中：

R_d—驱替气在煤层中有效驱替甲烷的最大作用半径，m；

P_i, P_e—注气点气体压力、驱替前缘气体压力，MPa；

ϕ—煤层的孔隙度。

5.3 工艺参数选取

注气工艺参数应根据煤层赋存条件、瓦斯参数及抽采目标综合确定，并符合下列要求：

a) 注气压力应低于煤层破裂压力，宜控制在 0.5～2.0 MPa；
b) 低渗透煤层宜采用分级升压方式，初期宜采用低压注气，随后逐步升至稳定注气压力；
c) 注气流量宜根据煤层渗透率、瓦斯压力及抽采效果动态调整，一般宜为 10～80 m^3/min；
d) 驱替气纯度不应低于 97%，氧气体积分数不应大于 1%；
e) 注气过程中压力波动不宜超过额定压力的±10%。

5.4 注采钻孔布置

注采钻孔布置应符合下列要求：

a) 注采钻孔布置应根据驱替半径、煤层厚度、倾角及地质构造条件综合确定；
b) 注气钻孔与抽采钻孔间距宜取驱替半径的 0.8～1.0 倍；
c) 同一巷道内相邻注采钻孔组间距宜取驱替半径的 1.6～2.0 倍；
d) 钻孔深度宜穿透煤层全厚，并进入稳定层底板 0.5～1.0 m；
e) 钻孔封孔长度及封孔质量应符合有关标准规定，确保钻孔密封可靠。

5.5 作业要求

注气驱替作业应符合下列要求：

a) 注气与瓦斯抽采宜同步进行，形成负压诱导下稳定的气体运移通道；
b) 注气过程中应连续监测注气压力、注气流量、抽采浓度及混合气体组分变化；
c) 应根据瓦斯解吸速率、抽采浓度及抽采纯量变化，动态调整注采比，推荐注采比宜为 1:2～1:4；
d) 当瓦斯浓度异常变化、氧气浓度超限或系统运行异常时，应及时降低注气流量或暂停注气；
e) 注气结束后，应继续保持瓦斯抽采不少于 30 d，直至驱替气基本排出且抽采参数趋于稳定。

5.6 工艺参数推荐值

注气驱替主要工艺参数宜按**表1**选取。

表 1　注气驱替甲烷工艺参数表

项目	推荐值	说明
注气压力	0.5～2.0 MPa	应小于煤层破裂压力的70%
注气速率	10～80m^3/min	视煤层渗透率调整
注气时间	5～30 d	根据瓦斯浓度变化确定
驱替半径	3.0～16.0 m	依据煤层条件确定

6 效果考察与评价

6.1 一般规定

注气驱替瓦斯抽采效果评价应以提高瓦斯抽采率、降低瓦斯含量和改善煤层瓦斯治理效果为目标，结合现场监测数据、实验测试结果及工程运行情况进行综合评价。

6.2 考察指标

6.2.1 驱替效率

驱替效率（η_d）是指单位体积驱替气注入后，煤层甲烷实际解吸与运移量占理论解吸瓦斯量的比值，用以表征驱替气对甲烷的置换能力，应按下列公式计算：

$$\eta_d = \frac{Q_{CH_4,out}}{Q_{CH_4,in}} \cdots\cdots (1)$$

式中：

η_d—注气驱替效率；

$Q_{CH_4,out}$—驱替过程中煤层甲烷的解吸与运移量，m^3/h；

$Q_{CH_4,in}$—煤层理论解吸瓦斯量，m^3/h。

6.2.2 煤层瓦斯抽采率

煤层瓦斯抽采率（η_2）指注气驱替过程中单位时间内瓦斯抽采量占煤层初始瓦斯量的比例；瓦斯抽采纯量（Q_p）指单位时间内抽采系统中抽采的甲烷量，瓦斯抽采率和瓦斯抽采纯量应分别按下列公式计算：

$$\eta_2 = \frac{Q_{CH_4,e}}{Q_{CH_4,i}} \times 100\% \cdots\cdots (1)$$

$$Q_p = Q_{tot} \times C_{CH_4} \cdots\cdots (2)$$

式中：

η_2—煤层瓦斯抽采率；

$Q_{CH_4,e}$—注气驱替期间抽采的瓦斯总量，m^3/t；

$Q_{CH_4,i}$—煤层初始瓦斯含量总量，m^3/t；

Q_p—注气驱替抽采甲烷纯量，m^3；

Q_{tot}—注气驱替下抽采的总气量，m^3；

C_{CH_4}—抽采气体中甲烷体积分数，%。

6.2.3 瓦斯含量降低率

瓦斯含量降低率（η_3）为注气驱替后煤层瓦斯含量相对初始瓦斯含量的降低比例，用于表征注气驱替降低煤层瓦斯赋存水平的效果，应按下列公式计算：

$$\eta_3 = \frac{W_i - W_t}{W_i} \times 100\% \cdots\cdots (1)$$

式中：

η_3—瓦斯含量降低率；

W_i—初始煤层瓦斯含量，m^3/t；

W_t—注气驱替后的煤层残余瓦斯含量，m^3/t。

6.2.4 残余瓦斯压力与残余瓦斯含量

残余瓦斯压力（P_t）与残余瓦斯含量（W_t）是指注气驱替瓦斯抽采结束后测得的煤层残余瓦斯参数，其限值应符合《防治煤与瓦斯突出细则》的有关规定。

6.3 瓦斯抽采效果评价

注气驱替瓦斯抽采效果评价应以残余瓦斯压力和残余瓦斯含量作为达标判定指标，以驱替效率、瓦斯抽采率和瓦斯含量降低率作为效果评价指标，并应符合**表2**的规定。

表 2　注气驱替瓦斯抽采效果评价指标

项目	注气驱替瓦斯抽采达标指标	说明
驱替效率	≥60%	≥60%为注气驱替效果显著； 30%～60%为注气驱替效果较好； <30%为驱替效果一般
瓦斯抽采率	≥50%	≥50%为抽采增强效果显著； 30%～50%为抽采改善效果较好； <30%为抽采改善效果一般
瓦斯含量降低率	≥40%	≥40%为煤层瓦斯显著降低； 20%～40%为煤层瓦斯降低较明显； <20%为煤层瓦斯降低效果一般
残余瓦斯压力	＜0.74 MPa	抽采达标评判的临界值
残余瓦斯含量	＜8 m^3/t（构造区＜6 m^3/t）	抽采达标评判的临界值
注：综合判定时，当残余瓦斯压力或残余瓦斯含量任一指标不满足规定时，应判定为注气驱替瓦斯抽采未达标；在满足达标要求的基础上，可依据驱替效率、瓦斯抽采效率和瓦斯含量降低率对注气驱替效果进行综合评价。		

6.4 测试与监测方法

效果考察与评价所采用的测试与监测方法应符合下列要求：

a) 注气期间应定期采集抽采气体样品，测定甲烷、二氧化碳及驱替气主要组分的体积分数；
b) 残余瓦斯压力和残余瓦斯含量应按照《煤的瓦斯含量测定方法》和《煤矿井下煤层瓦斯压力的直接测定方法》规定的方法进行测定；
c) 抽采浓度、抽采流量及抽采纯量应连续监测、记录，并进行阶段性统计分析；
d) 驱替影响范围宜结合气体组分变化、煤层压力衰减特征或气体示踪方法进行综合确定。

7 工程质量验证

注气驱替甲烷抽采工程质量验证应覆盖施工质量、系统性能和抽采效果等环节，并应符合下列要求：

a) 工程质量验证应贯穿注气驱替全过程，覆盖系统调试、注采运行、数据监测和效果评估等阶段；
b) 应建立工程质量验证数据监测体系，连续监测驱替气注入量、注入压力、瓦斯浓度、抽采纯量及煤层气体参数等关键指标；
c) 工程质量验证应以现场实测数据为依据，结合数值模拟、气体平衡分析及抽采效果评价进行综合判定；
d) 注气系统建成后，应对管路气密性、阀门动作性能及防爆、防回火装置功能进行检测；
e) 钻孔施工质量应按照《煤矿井下瓦斯抽采钻孔成孔、护孔技术规范》进行检测，检测内容应包括钻孔轨迹、孔深、封孔质量及注采连通性；
f) 注气系统应进行气密性试验，试验压力宜为设计工作压力的 1.25 倍，且不应低于 1.0 MPa；
g) 注气设备、管路及监测装置的安装位置、设备编号和监测信号应经现场验收合格后备案。

8 安全与环境要求

8.1 一般要求

一般要求应符合下列要求：

a) 注气驱替系统及相关设备的设计、制造、安装、运行和维护应符合《煤矿安全规程》《防治煤与瓦斯突出细则》及 GB 3836 系列标准等有关规定；
b) 注气驱替作业应纳入矿井安全管理体系，制定专项安全技术措施，并经矿总工程师批准后实施；
c) 应建立健全注气驱替安全管理制度和岗位责任制度，明确各岗位安全职责；
d) 注气驱替全过程应坚持安全第一、预防为主、综合治理的原则。

8.2 设备与系统安全

设备与系统安全应符合下列要求：
a) 注气设备、管路、阀门及附属设施应定期检查、维护和校验，确保系统运行安全可靠；
b) 注气系统应设置防爆、防静电、防回火、超压泄放及紧急切断装置，并保持完好有效；
c) 注气设备及电气设施应符合 GB 3836 系列标准要求，并具有相应的防爆合格证；
d) 地面制气装置、输气管路及井下注气系统应采取防止气体泄漏、倒灌和超压运行的安全措施。

8.3 作业区域安全

作业区域安全应符合下列要求：
a) 注气期间应采取有效措施防止驱替气体进入采掘工作面风流；
b) 作业区域应保持独立、稳定的通风系统，不应出现逆风、循环风及漏风现象；
c) 注气驱替作业应与通风、瓦斯抽采及采掘作业协调进行，保持矿井通风系统稳定；
d) 作业期间应设置警戒区域，安排专人值守，无关人员不得进入作业区域。

8.4 监测与数据管理

监测与数据管理应符合下列要求：
a) 注气全过程应连续监测注气压力、注气流量、驱替气浓度、甲烷浓度及混合气体组分变化；
b) 作业区域应设置甲烷、氧气及二氧化碳浓度在线监测装置，并具有超限报警和联锁控制功能；
c) 注气钻孔、抽采钻孔及瓦斯排放点等关键位置应设置气体采样和监测装置；
d) 监测数据应连续记录并存档，保存期限不少于 2 年。

8.5 人员与运行管理

人员与运行管理应符合下列要求：
a) 从事注气驱替作业的人员应经过专门培训，考核合格后方可上岗；
b) 作业期间应安排专人负责设备运行监控，及时发现并处置异常情况；
c) 应建立注气作业日志，如实记录注气参数、设备运行状态、异常情况及处理结果；
d) 应制定注气驱替作业专项应急预案，并定期进行修订和完善。

8.6 环境防护

环境保护应符合下列要求：
a) 驱替气体应符合相应产品标准要求，驱替气纯度不应低于 97%；
b) 抽采混合气体应经脱水、净化等处理后排放或综合利用，不应直接排入井筒或大气；
c) 排放气体中甲烷浓度及其他污染物排放指标应符合国家现行有关规定；
d) 作业过程中产生的废油、废液、废吸附剂及其他废弃物应分类收集并妥善处置。

8.7 应急处置

发生设备故障、气体泄漏、压力异常或有害气体浓度超限等异常情况时，应采取下列应急处置措施：
a) 立即停止注气作业，切断气源，并采取措施防止事故扩大；
b) 组织现场人员撤离至安全区域，根据现场情况加强通风和气体检测；
c) 及时启动应急预案，开展现场应急处置，并按规定报告有关部门；
d) 现场应配备气体泄漏报警装置、呼吸防护器具、灭火器、应急照明及通信设备，并保持完好有效；
e) 应定期组织应急演练，对应急预案的有效性和作业人员应急处置能力进行检验和评估。

参 考 文 献

[1] 《防治煤与瓦斯突出细则》 国家煤矿安全监察局编制
[2] 《煤矿安全规程》 国家安全生产监督管理总局编制
[3] 《煤层气地面开采安全规程（试行）》 国家安全生产监督管理总局编制
[4] 《煤矿瓦斯抽采达标暂行规定》 国家安全生产监督管理总局、国家发展和改革委员会、国家能源局、国家煤矿安全监察局编制
[5] GB/T 1.1-2020 标准化工作导则 第1部分：标准的结构和起草规则[S].
[6] GB/T 1.2-2020 标准化工作导则 第2部分:以ISO/IEC标准化文件为基础的标准化文件起草规则[S].
[7] GB 41022-2021 煤矿瓦斯抽采基本指标[S].
[8] GB/T 29119-2023 煤层气资源勘查技术规范[S].
[9] GB/T 40548-2021 煤层气井分层控压合层排采技术规范[S].
[10] GB/T 3864-2008 工业氮[S].
[11] GB 3836.2-2021 爆炸性环境 第2部分：由隔爆外壳“d”保护的设备[S].
[12] GB/T 3836.3-2021 爆炸性环境 第3部分：由增安型“e”保护的设备[S].
[13] GB 50235-2010 工业金属管道工程施工规范[S].
[14] GB/T 18403.1-2022 气体分析器性能表示 第1部分：总则[S].
[15] GB 40880-2021 煤矿瓦斯等级鉴定规范[S].
[16] GB/T 51169-2016 煤炭工业矿井采掘设备配备标准[S].
[17] GB 20426-2006 煤炭工业污染物排放标准[S].
[18] NB/T 11125-2023 煤矿井下瓦斯抽采孔水力压裂技术方案设计规范[S].
[19] NB/T 10017-2014 煤层气井压裂施工质量验收规范[S].
[20] NB/T 11141-2023 煤矿用氮气降温装置[S].
[21] MT/T 774-2011 煤矿用移动式膜分离制气装置通用技术条件[S].
[22] MT/T 701-1997 煤矿用氮气防灭火技术规范[S].
[23] JJG(煤炭) 4-1988 催化燃烧原理甲烷测定器检定规程[S].
[24] TSG 21-2016 固定式压力容器安全技术监察规程[S].